

2002

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2003年 9月 8日

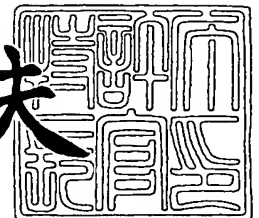
出 願 番 号
Application Number: 特願2003-314999
[ST. 10/C]: [JP2003-314999]

出 願 人
Applicant(s): HOYA株式会社

2004年 2月13日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特2004-3009103

【書類名】 特許願
【整理番号】 03P20091
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G03F 1/08
H01L 21/027

【発明者】
【住所又は居所】 東京都新宿区中落合 2 丁目 7 番 5 号 H O Y A 株式会社内
【氏名】 笑喜 勉

【発明者】
【住所又は居所】 東京都新宿区中落合 2 丁目 7 番 5 号 H O Y A 株式会社内
【氏名】 大久保 亮

【発明者】
【住所又は居所】 東京都新宿区中落合 2 丁目 7 番 5 号 H O Y A 株式会社内
【氏名】 木下 健

【特許出願人】
【識別番号】 000113263
【住所又は居所】 東京都新宿区中落合 2 丁目 7 番 5 号
【氏名又は名称】 H O Y A 株式会社

【代理人】
【識別番号】 100113343
【弁理士】
【氏名又は名称】 大塚 武史

【先の出願に基づく優先権主張】
【出願番号】 特願2003- 56273
【出願日】 平成15年 3月 3日

【手数料の表示】
【予納台帳番号】 154299
【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

基板と、該基板上に形成された、露光光を反射する反射多層膜とを有する反射型マスクブランクスであって、前記反射多層膜の主表面には、入射した露光光の反射光に位相変化を生じる段差が形成されていることを特徴とする擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス。

【請求項 2】

基板と、該基板上に形成された、露光光を反射する反射多層膜とを有する反射型マスクブランクスであって、前記基板の主表面上には所定の凹凸からなる下地パターンを有し、該下地パターン上に設けた前記反射多層膜の主表面には前記下地パターンに対応する段差が形成され、前記反射多層膜に擬似的な欠陥が形成されていることを特徴とする擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス。

【請求項 3】

前記下地パターンは、パターン状の薄膜により形成されていることを特徴とする請求項 2 記載の擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス。

【請求項 4】

前記下地パターンを形成している薄膜が Cr 又は Ta を主成分とする材料からなることを特徴とする請求項 3 記載の擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス。

【請求項 5】

前記下地パターンを形成している薄膜が Cr と少なくとも N を含む材料或いは、Ta と少なくとも B を含む材料からなることを特徴とする請求項 4 記載の擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス。

【請求項 6】

前記下地パターンと前記反射多層膜との間に下地中間膜を設けることを特徴とする請求項 2 乃至 5 の何れかに記載の擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス。

【請求項 7】

前記反射多層膜が Mo と Si を交互に積層した膜であることを特徴とする請求項 1 乃至 6 の何れかに記載の擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス。

【請求項 8】

前記反射多層膜上に、更に、露光光を吸収する材料からなる吸収体層を備えていることを特徴とする請求項 1 乃至 7 の何れかに記載の擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス。

【請求項 9】

前記露光光が EUV 光であることを特徴とする請求項 1 乃至 8 の何れかに記載の擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス。

【請求項 10】

前記反射多層膜表面の表面粗さは、二乗平均平方根粗さ (Rms) で、0 nm 超 0.2 nm 以下であることを特徴とする請求項 1 乃至 9 の何れかに記載の反射型マスクブランクス。

【請求項 11】

請求項 8 に記載の擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス of 吸収体層にマスクパターンを形成したことを特徴とする擬似欠陥を有する反射型マスク。

【請求項 12】

基板の主表面上に、該主表面上に所定の凹凸を形成するためのパターン状の薄膜を有することを特徴とする擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス又は反射型マスクの製造用基板。

【請求項 13】

基板と、該基板上に形成された、露光光を反射する反射多層膜とを有する反射型マスクブランクス of 製造方法であって、

前記基板の主表面上に所定の凹凸からなる下地パターンを形成する工程と、

前記下地パターン上に反射多層膜を形成し、該反射多層膜の主表面に前記下地パターン

に対応する段差を形成して、反射多層膜に擬似的な欠陥を形成する工程と、を有し、

前記反射多層膜の形成は、反射多層膜成膜用のスパッタターゲット面に向けて基板を配置し、前記基板主表面の中心を通る法線を回転軸として前記基板を回転させながらスパッタ成膜することを特徴とする反射型マスクブランクス製造方法。

【請求項 14】

前記基板は、前記基板の主表面が、前記スパッタターゲット面に対して傾斜した角度で配置していることを特徴とする請求項 13 記載の反射型マスクブランクス製造方法。

【請求項 15】

前記基板の前記スパッタターゲット面に対する角度を制御して、前記反射多層膜の主表面に形成される段差の高さ、大きさ、形状の少なくとも一つを制御することを特徴とする請求項 14 記載の反射型マスクブランクス製造方法。

【請求項 16】

前記反射多層膜上に露光光を吸収する材料からなる吸収体層を形成することを特徴とする請求項 13 乃至 15 の何れかに記載の反射型マスクブランクス製造方法。

【請求項 17】

請求項 16 に記載の擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス吸収体層にマスクパターンを形成することを特徴とする擬似欠陥を有する反射型マスク製造方法。

【書類名】明細書

【発明の名称】擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス及びその製造方法、擬似欠陥を有する反射型マスク及びその製造方法、並びに擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス又は反射型マスクの製造用基板

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体のパターン転写などに使用される露光用反射型マスク及びそれを製造するための反射型マスクブランクの検査や評価等に用いられる、擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス及びその製造方法、並びに擬似欠陥を有する反射型マスク及びその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、半導体産業において、半導体デバイスの微細化に伴い、EUV (Extreme Ultra Violet) 光を用いた露光技術であるEUVリソグラフィが有望視されている。なお、ここで、EUV光とは、軟X線領域又は真空紫外線領域の波長帯の光を指し、具体的には波長が0.2~100 nm程度の光のことである。この、EUVリソグラフィにおいて用いられるマスクとしては、特開平8-213303号公報や特開平7-333829号公報に記載された露光用反射型マスクが提案されている。

このような反射型マスクは、基板上に光を反射する反射多層膜が形成され、反射多層膜上にバッファ層が形成され、さらにバッファ層上に光を吸収する吸収膜がパターン状に形成されたものである。露光機において反射型マスクに入射した光は、吸収膜のある部分では吸収され、吸収膜のない部分では反射多層膜により反射された像が反射光学系を通してウエハ上に転写される。ここで、バッファ層は、マスクの製造工程において、ドライエッチングなどを用いて吸収膜のパターンを形成する際に、反射多層膜を保護するために形成されるものである。

【0003】

一般的に、半導体へのパターン転写に用いられるマスクの転写性能やマスク欠陥の検査は、擬似的に所定の位置に欠陥を形成したマスクやマスクブランクスを用いて行われる。例えば、マスクに形成される白欠陥（吸収体が欠如した部分）や黒欠陥（吸収体が過剰な部分）の転写性能テスト、欠陥検査を行う場合には、予め、所定の位置に所定の大きさの白欠陥や黒欠陥を作製した擬似欠陥を有するマスクや擬似欠陥を有するマスクブランクスを用意する。そして、この擬似欠陥を有するマスクの転写性能を評価したり、或いは、これらを検査の規準試料として使用して、検査機の感度を校正し、製品の欠陥を定量評価する。

【0004】

【特許文献1】特開平8-213303号公報

【特許文献2】特開平7-333829号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、上述した反射型マスクにおいて、マスク面のパターン近傍に凹凸が存在すると、反射光にはその凹凸に起因した位相の変化が起こる。この位相の変化は転写されるパターンの位置精度やコントラストを悪化させる原因となる。このような転写に影響を及ぼす位相変化を生じる欠陥を位相欠陥と呼ぶ。

従来の光リソグラフィの場合には、露光光の波長が紫外域（150~247 nm程度）と比較的長いので、マスク面に凹凸が発生しても、これが位相欠陥とまではなにくく、通常の製造条件で作製される凹凸であれば、大きな問題とならなかった。そして、凹凸が発生してもその許容範囲が広がったため、必ずしも位相欠陥に対する検査や評価は必要ではなかった。

しかしながら、EUV光のような短波長の光を露光光として用いる場合には、マスク面

上の微細な凹凸に対して位相の変化が非常に敏感となるため、転写像への影響が大きくなり、小さな凹凸に由来する位相の変化が無視できない。例えば、13 nm程度のEUV光を露光光として用いる場合には、2 nm程度の凹凸でさえ位相欠陥となりうる。

このため、短波長領域のリソグラフィにおいては、マスクに発生した位相欠陥の転写パターンへの影響の調査、及び、マスクやマスクブランクス製造における位相欠陥の定量的な検査が必須となる。

【0006】

上述した反射型マスクにおいて、このような位相欠陥の評価や検査を行おうとすると、反射多層膜上の所定の位置に、予め所定の大きさの位相欠陥が形成された擬似欠陥を有するマスク或いは擬似欠陥を有するマスクブランクスを用意する必要がある。しかしながら、これまでそのような検査・評価を行うための擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス及び擬似欠陥を有する反射型マスクは知られていなかった。更には、位相欠陥として上述したように数nmレベルの微小な凹凸を形成する必要があるが、反射多層膜上にそのような微小な位相欠陥を特定位置、特定の大きさで作製する方法は知られていなかった。

また、欠陥検査においては、欠陥検査機の検査感度の点から、反射多層膜表面は、平滑な膜表面を有する必要がある。従来は、反射多層膜表面が平滑な擬似欠陥を有するマスクブランクス、およびその作製方法は知られていなかった。

従って、本発明の目的とするところは、反射型マスク及び反射型マスクブランクスの評価・欠陥検査に用いる事が出来る、所望の位置に所望の大きさ、形状の擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス及び擬似欠陥を有する反射型マスクを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明者は、上記課題を解決するべく鋭意検討した結果、基板上に予め所定の下地パターンを形成し、この下地パターンを形成した基板上に反射多層膜を形成することで、反射多層膜に段差を導入して、所望の位置に所望の大きさ、形状の欠陥が制御性良く形成された擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス及び反射型マスクが得られることを見出した。

本発明者は、こうして得られた知見に基づいて、以下の構成を有する本発明を完成した。

【0008】

(構成1) 基板と、該基板上に形成された、露光光を反射する反射多層膜とを有する反射型マスクブランクスであって、前記反射多層膜の主表面には、入射した露光光の反射光に位相変化を生じる段差が形成されていることを特徴とする擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス。

(構成2) 基板と、該基板上に形成された、露光光を反射する反射多層膜とを有する反射型マスクブランクスであって、前記基板の主表面上には所定の凹凸からなる下地パターンを有し、該下地パターン上に設けた前記反射多層膜の主表面には前記下地パターンに対応する段差が形成され、前記反射多層膜に擬似的な欠陥が形成されていることを特徴とする擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス。

(構成3) 前記下地パターンは、パターン状の薄膜により形成されていることを特徴とする構成2記載の擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス。

(構成4) 前記下地パターンを形成している薄膜がCr又はTaを主成分とする材料からなることを特徴とする構成3記載の擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス。

(構成5) 前記下地パターンを形成している薄膜がCrと少なくともNを含む材料或いは、Taと少なくともBを含む材料からなることを特徴とする構成4記載の擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス。

(構成6) 前記下地パターンと前記反射多層膜との間に下地中間膜を設けることを特徴とする構成2乃至5の何れかに記載の擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス。

(構成7) 前記反射多層膜がMoとSiを交互に積層した膜であることを特徴とする構成1乃至6の何れかに記載の擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス。

(構成 8) 前記反射多層膜上に、更に、露光光を吸収する材料からなる吸収体層を備えていることを特徴とする構成 1 乃至 7 の何れかに記載の擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス。

(構成 9) 前記露光光が E U V 光であることを特徴とする構成 1 乃至 8 の何れかに記載の擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス。

(構成 10) 前記反射多層膜表面の表面粗さは、二乗平均平方根粗さ (R m s) で、0 n m 超 0.2 n m 以下であることを特徴とする構成 1 乃至 9 の何れかに記載の反射型マスクブランクス。

【0009】

(構成 11) 構成 8 に記載の擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス of 吸収体層にマスクパターンが形成されていることを特徴とする擬似欠陥を有する反射型マスク。

(構成 12) 基板の主表面上に、該主表面上に所定の凹凸を形成するためのパターン状の薄膜を有することを特徴とする擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス又は反射型マスクの製造用基板。

(構成 13) 基板と、該基板上に形成された、露光光を反射する反射多層膜とを有する反射型マスクブランクス of 製造方法であって、前記基板の主表面上に所定の凹凸からなる下地パターンを形成する工程と、前記下地パターン上に反射多層膜を形成し、該反射多層膜の主表面に前記下地パターンに対応する段差を形成して、反射多層膜に擬似的な欠陥を形成する工程と、を有し、前記反射多層膜の形成は、反射多層膜成膜用のスパッタターゲット面に向けて基板を配置し、前記基板主表面の中心を通る法線を回転軸として前記基板を回転させながらスパッタ成膜することを特徴とする反射型マスクブランクス of 製造方法。

(構成 14) 前記基板は、前記基板の主表面が、前記スパッタターゲット面に対して傾斜した角度で配置していることを特徴とする構成 13 記載の反射型マスクブランクス of 製造方法。

(構成 15) 前記基板の前記スパッタターゲット面に対する角度を制御して、前記反射多層膜の主表面に形成される段差の高さ、大きさ、形状の少なくとも一つを制御することを特徴とする構成 14 記載の反射型マスクブランクス of 製造方法。

(構成 16) 前記反射多層膜上に露光光を吸収する材料からなる吸収体層を形成することを特徴とする構成 13 乃至 15 の何れかに記載の反射型マスクブランクス of 製造方法。

(構成 17) 構成 16 に記載の擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス of 吸収体層にマスクパターンを形成することを特徴とする擬似欠陥を有する反射型マスク of 製造方法。

【発明を実施するための最良の形態】

【0010】

以下、本発明の実施の形態を詳しく説明する。

図 1 (a) は、本発明の擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス of 一実施形態を示すもので、基板 1 上の所定の位置に、所定の大きさ、形状の下地パターン 2 が形成されており、更に、下地パターン 2 が形成された基板 1 表面全体を覆うように、反射多層膜 3 が形成された構造となっている。そして、反射多層膜 3 には、下地パターン 2 によって形成される凹凸を引き継ぐ様にして段差が形成され、この段差による凸部 4 をなしている。本実施の形態の場合、基板 1 上に島状に形成された凸状の下地パターン 2 に対応する反射多層膜 3 上の位置に、凸部 4 が形成されて擬似欠陥をなしている。即ち、下地パターン 2 の存在により、その上に形成される反射多層膜 3 に段差による凸部 4 が生じ、これが欠陥となっている。なお、図 1 (a) では、幅の異なる 2 種類の下地パターン 2 a, 2 b を示しており、これと対応するように、反射多層膜 3 上には形状の異なる凸部 4 a, 4 b が形成されている。

【0011】

次に、基板 1 上に形成される下地パターン 2 について詳細に述べる。

下地パターンは、基板上に凹凸を形成する機能を有し、この下地パターンの凹凸に基づいて、反射多層膜に段差による欠陥が導入される。下地パターンは、例えば、基板上に形成された薄膜にパターンを形成することで作製することができる。基板に直接下地パター

ンを形成してもよいが、これに比較して、基板上に薄膜を形成しこの薄膜にパターンを形成する方法は、パターン形成が容易であり、又、パターン形状の制御性がよく、更には、表面が平滑なパターンを得易いという利点がある。

ところで、擬似欠陥を有する反射型マスク及び擬似欠陥を有する反射型マスクブランクスを露光性能のテスト或いは欠陥検査のブランク試料として用いられる場合には、様々な大きさ、形状の欠陥が形成されたサンプルが必要になる。

従って、下地パターンの形状は、必要な欠陥の形状に応じて設計する。図1(a)においては、下地パターンとして、断面が矩形の下地パターン2が基板1上に形成されている。

又、下地パターンの平面形状は、評価或いは検査等の目的に応じて、ドット状やライン状など任意の形状とする事が出来る。従って、反射多層膜はこの下地パターン形状を引き継いで、ドット状やライン状の擬似欠陥を形成する。

【0012】

図1(a)に示す反射型マスクブランクスは、下地パターン2上に形成された反射多層膜3中の欠陥部分は、反射多層膜の上部に向かうに従い、次第に幅が広がるようになったものである。そのため、反射多層膜表面に形成される擬似欠陥である凸部4a、4bの幅は、下地パターン2a、2bの凸部の幅より外側に所定の幅だけ大きくなり、欠陥の凸部4a、4bの平面形状は、下地パターン2a、2bの凸部の平面形状よりも大きくなる。

図1(b)に示す反射型マスクブランクスは、下地パターン2上に形成された反射多層膜3中の欠陥部分は、反射多層膜の上部に向かうに従い、次第に幅が狭くなるようになったものである。そのため、反射多層膜表面に形成される擬似欠陥である凸部4c、4dの幅は、下地パターン2c、2dの凸部の幅より外側に所定の幅だけ小さくなり、欠陥の凸部4c、4dの平面形状は、下地パターン2c、2dの凸部の平面形状よりも小さくなる。

図1(a)、(b)のような、反射多層膜表面に形成される凸部の形状は、後述するように反射多層膜の成膜条件を適宜制御することによって容易に制御することができる。

又、図1(a)、(b)において、反射多層膜表面に形成される凸部4a、4b、4c、4dの高さは、ほぼ下地パターン2a、2bの高さと同様か又は小さくなるが、凸部4a、4b、4c、4dの断面形状は、下地パターン2a、2b、2c、2dと同様の形状にならないのが通常である。即ち、断面形状が矩形の下地パターン上の反射多層膜に形成された欠陥であっても、欠陥の外周部側面は直角とならずになだらかな斜面となる傾向にある。一般に、断面矩形状の下地パターンを用いた場合、反射多層膜に形成される欠陥の上面は、図1(a)のように中央部はほぼ平坦で、外周部に斜面を有する形状となるか、図1(b)のように中央部の平坦部分がないなだらかな凸形状となる。下地パターンの凸部の幅を広くすればするほど、欠陥の中央の平坦な領域が増し、下地パターンの幅が小さい場合は、欠陥の中央の平坦部は小さくなる。更に、反射多層膜3の膜厚が増すほど、下地パターン2の大きさ(幅)に対して、欠陥である凸部4の大きさ(幅)は大きくなっていく。

また、下地パターンは大きさ(幅)の異なる2種類の凸部(ドットパターン)だけでなく、例えば図1(c)にあるように、基板の主表面内に大きさ(幅)の異なる複数種類の凸部を等間隔に配置した反射型マスクブランクスとしても良い。

【0013】

このように、基板上に形成する下地パターンの形状の設計は、反射多層膜に形成される擬似欠陥の形状との関係を考慮して行う。予め下地パターンの形状と、形成される欠陥の形状との相関関係を調査しておき、これに従って、所望の欠陥形状が得られるように下地パターンを設計する。又、下地パターンの形状と欠陥との関係は、反射多層膜の成膜方法、材料、層構成(膜厚や層数)等によって変化するので、これらのパラメータを予め定めておく。これらのパラメータは、作製される擬似欠陥を有するマスクブランクス及び擬似欠陥を有するマスクを用いて評価及び検査を行う反射型マスクブランクス製品及び反射型マスク製品の構成と合わせておけばよい。評価や検査の種類にもよるが、通常、下地パタ

ーンの高さは1nm～100nm程度、幅は20nm程度～300nm程度である。

更に、本発明の擬似欠陥を有するマスクブランクス及び擬似欠陥を有するマスクは、出来るだけ実際の反射型マスクブランクス製品及び反射型マスク製品の製造にて発生する欠陥と同様の形状の欠陥を有することが好ましい。

実際の反射型マスクブランクス及び反射型マスク製造において、欠陥は、例えば、ガラス基板上の異物の存在、又は、反射多層膜成膜時に異物が混入したり、或いは、成膜中に反射多層膜の周期構造が乱れる事によって発生する。

【0014】

このようにして発生した欠陥は、その上面が凸状曲面になっている場合が多いが、このように上面が凸状曲面の欠陥を擬似的に形成する方法として、上記図1(b)の形態にあるように反射多層膜の成膜条件により制御する方法や、下地パターンの形状を変える方法がある。下地パターンの形状を変える方法は、即ち、下地パターンの上面を曲面にする方法である。下地パターンの形状を変える方法としては、例えば、図2(a)に示すように、上面に凸形状の曲面を有する下地パターン2を用いるか、或いは同図(b)に示すように、上面全体が曲面、例えば半球状となった下地パターン2を用いると、欠陥の凸部4上面が凸状曲面となったものが容易に得られる。

なお、実際の反射型マスクブランクス及び反射型マスク製造において発生する欠陥は、凸形状となるのが大半である。従って、たとえば前述の図1に示すように、基板1上にドット状或いはライン状等の凸形状の下地パターン2を形成し、この上に反射多層膜3を設けて反射多層膜に予め所定の凸形状の欠陥を形成したマスクブランクス及びマスクを用いることにより、実際の製品における凸形状の欠陥の評価及び検査が可能になる。凸形状の下地パターンは、基板上に形成された薄膜の内、大部分は除去され、部分的に凸状のパターンが残されたものである。

【0015】

一方、実際の反射型マスクブランクス及び反射型マスク製造において発生する凹形状の位相欠陥に対する評価・検査を行う場合には、下地パターンとして、基板上に形成された薄膜の一部を除去して、薄膜のない部分からなる凹部をドット状、或いはライン状等に形成したものや、基板の主表面にドット状、或いはライン状等に凹部を形成したものをを用いる事が出来る。即ち、前者の場合、大部分の薄膜を残した状態で、部分的に薄膜を除去することで凹部を有する下地パターンを形成することができる。

このような下地パターン上に形成される反射多層膜には、凹部の形状を引き継いで、凹形状の欠陥を生じるため、凹形状の欠陥に対する評価・検査を行うことができる。

このような凹形状の下地パターンの設計については、前述の凸形状の下地パターンを設計する場合と同様に、予め下地パターンと形成される擬似欠陥との相関関係を求めておき、この相関関係を参照して行う。但し、凹形状の欠陥の場合には、下地パターンの凹部の大きさ(幅)に対し、形成される擬似欠陥の大きさ(幅)は逆に小さくなる。

【0016】

ところで、下地パターンを、基板上に設けた薄膜にパターンを形成することで作製する場合、薄膜に使用される材料は、以下のような特性を持つものが好ましい。

(1) 上に形成される反射多層膜等の平滑性を確保するため、パターン面は平滑であること。特に0.3nmRms以下の平滑性を有するのが好ましい。

(2) パターンの形成時に、基板とのエッチング選択比は十分に高く、基板にダメージを与えないこと、例えばパターン形成によって基板表面を荒らさないこと。基板とのエッチング選択比は、好ましくは20程度以上である。

(3) 通常にマスク洗浄に用いられる、酸やアルカリに十分耐性を有すること。又、設計通りのパターンを形状精度良く形成するために、薄膜の応力は出来るだけ小さい方が好ましい。

以上の特性を満たす材料としては、Cr又はTaを主成分とする材料が好ましい。なお、主成分であるとは、材料に含まれる金属元素のうち、その金属元素の割合(原子%で示す組成比)が最も高い場合を指す。

【0017】

まず、Crを主成分とする材料について説明する。

Crを主成分とする材料はCr単体の金属又はCr合金を含む。Crを主成分とする材料は、表面の平滑性に優れている。又、基板を石英ガラス或いは低膨張のSiO₂-TiO₂ガラス等のガラスとし、この基板上にCrを主成分とする材料を形成した場合には、塩素と酸素の混合ガスを用いたドライエッチングによって、基板にほとんどダメージを与えずに、Crを主成分とする膜にパターンを形成する事が出来る。又、表面の平滑性は、Crを主成分とする材料の結晶状態を微結晶或いはアモルファスとすることでより優れたものとなる。

微結晶構造の材料は、Crに窒素(N)を添加することで得られる。Nの含有量は原子数で5～50%とするのが好ましい。例えば、Nを20%含んだ微結晶構造の窒化クロム膜を好ましく使用することができる。窒素を含むことで、耐酸化性及び応力制御性が向上するが、一方で、窒素の含有量があまり多くなると、膜の表面粗さは粗くなる傾向にあるため好ましくない。

Crを主成分とする膜としては、窒化クロム以外に、CrにN, O, Cの少なくとも一つを含んでいる材料を用いる事が出来る。例えば、酸化クロム、酸化窒化クロム、炭化クロム、炭化窒化クロム、酸化窒化炭化クロム等である。

【0018】

また、Taを主成分とする材料は、Ta単体の金属またはTa合金を含む。Taを主成分とする材料は、表面の平滑性と平坦性に優れていると共に、応力の制御性に優れるという利点も有している。又、基板を石英ガラス或いは低膨張のSiO₂-TiO₂ガラス等のガラスとし、この基板上にTaを主成分とする材料を形成した場合には、塩素ガスを用いた低バイアスのドライエッチングによって、基板にほとんどダメージを与えずに、Taを主成分とする膜にパターンを形成する事が出来る。又、表面の平滑性は、Taを主成分とする材料の結晶状態を微結晶或いはアモルファスとすることでより優れたものとなる。

この種のアモルファス材料や微結晶構造にするには、例えばTaにBやSi, Ge等を加えることにより容易に実現できる。このようなアモルファス状または微結晶の構造にした場合、0.2nmRms以下の平滑性を得ることができる。中でも特に好ましいのは、TaとBを含む材料である。この材料の場合、TaとBの比率は原子数比で、Ta/Bが8.5/1.5～7.5/2.5に選定することにより、微結晶あるいはアモルファス構造を得ることができる。特にBを20%含んだTa₄Bは容易にアモルファス構造にすることができるので良好な平滑性と平坦性が得られる。

【0019】

Taを主成分とする材料としては、上述の金属成分以外に、種々の特性を付与するために酸素及び／又は窒素を含有させることができる。例えば、TaとNを含む材料(TaN)、TaとBとOを含む材料(TaBO)、TaとBとNを含む材料(TaBN)、TaとBとNとOを含む材料(TaBNO)、TaとSiを含む材料(TaSi)、TaとSiとNを含む材料(TaSiN)、TaとGeを含む材料(TaGe)、TaとGeとNを含む材料(TaGeN)等が挙げられる。例えば、TaにNやOを加えれば、酸化に対する耐性が向上するため、経時的な安定性を向上させることができるという効果が得られる。

また、TaとBとNを含む材料も好ましい材料である。Nを含有することで耐酸化性が向上する。この材料の場合、Nが5～30at%であり、残りの成分を100とした時、Bが10～30at%となるように選定すれば、アモルファス構造又は微小結晶を容易に得ることができる。例えば、Taを主成分とし、Bを15at%、Nを10at%にすると、アモルファス構造の材料を得ることができる。

なお、下地パターンを形成する薄膜材料として、上述のTa又はCrを主成分とする材料以外に、窒化タングステン(WN)や、窒化チタン(TiN)等も使用することが可能である。

【0020】

次に、基板上に形成した薄膜をパターンニングすることにより、下地パターンを形成する方法について説明する。

(1) まず、基板を準備する。

基板としては、低熱膨張係数を有し、平滑性、平坦度、およびEUVマスクの洗浄等に用いる洗浄液への耐性に優れたものが好ましく、低熱膨張係数を有するガラス、例えばSiO₂-TiO₂系ガラス等を用いるが、これに限定されず、β石英固溶体を析出した結晶化ガラスや石英ガラス、シリコンや金属などの基板を用いることも出来る。金属基板の例としては、インバー合金(Fe-Ni系合金)等を用いることができる。基板は0.2nmRms以下の平滑な表面と100nm以下の平坦度を有していることが高反射率および転写精度を得るために好ましい。

(2) 基板上に下地パターンを形成するための薄膜を形成する。

上述したTa又はCrを主成分とした膜を基板上に形成する。膜の形成は、基板面のマスク領域となる部分に一樣に形成する。基板上への膜の形成は、通常の成膜手法を適宜使用すればよく、スパッタリング法などを用いることができる。例えば、窒化クロム膜の場合には、Crターゲットを用いて、窒素を含むガスをスパッタガスとして使用する。又、TaとBの合金の場合には、TaとBを含むターゲットを用いてスパッタリング法にて形成することができる。

膜厚は、形成する擬似欠陥の形状との関係に基づいて、設計された厚さとする。矩形パターンの場合、必要な欠陥の高さと同程度とすればよい。成膜法によっては、欠陥の高さがパターンの高さより小さくなる場合がある。また、欠陥の幅がパターン幅より小さくなる場合がある。また、成膜方法にもよるが、下地パターンの上面を凸曲面とした場合には、その上に積層される反射多層膜表面に形成される欠陥の高さは、矩形の場合と比較して、低くなる傾向がある。この場合には、下地パターンの高さは、反射多層膜表面に必要な欠陥の高さより高めに設定する。

【0021】

(3) 薄膜にパターンを形成する。

基板上に形成された薄膜に、必要な欠陥の形状、大きさ及び位置に応じた所定のパターンを形成する。パターンは、平面形状がドット状、或いはライン状など任意の形状を選択することができる。パターン形成方法としては、リソグラフィ手法を用いることができる。これは、パターン形状の制御性がよく、高精度のパターン形成が容易である。

例えば、薄膜上に、作製するパターンに応じたレジストパターンを形成する。レジストパターンの形成は、レジスト膜への直接電子線描画或いは光露光と現像によって形成する。このレジストパターンをマスクとして、下地の薄膜をエッチングする。エッチングは、ドライエッチング或いはウエットエッチングのどちらでもよい。例えば、Taを主成分とした薄膜は、塩素を含むガスでドライエッチングが可能である。又、Crを主成分とした薄膜は、塩素と酸素を含むガスでのドライエッチング、或いは、Cr剥離液(硝酸第2セリウムアンモニウム+過塩素酸+純水)を用いてのウエットエッチングが可能である。

薄膜の一部に凹部パターンを形成する場合には、このエッチング手法が特に有用である。

なお、エッチングを行う場合には、基板と薄膜とのエッチング選択比が大きくなり、エッチングにより基板表面にダメージができるだけ起こらないようなエッチングガス、エッチング方法を選択することが望ましい。

【0022】

一方、このようなマスク領域に一樣に設けた薄膜にパターンを形成するのではなく、基板上に局所的に膜を堆積する方法を用いて下地パターンを形成することもできる。例えば蒸着や、スパッタリング、CVDなどの方法を用いることができる。必要に応じて予め基板上に所定の開口を有するマスクパターンを形成しておき、このマスクパターンの開口を含む全体に膜を堆積させ、その後、マスクパターン及びその上に形成された膜を除去して、基板上にマスクパターンの開口部分に形成された膜による凸状の下地パターンを形成することができる。この場合のマスクパターンとしては、レジスト材料などを用いることが

できる。

又、このようなマスクパターンを用いずに、直接局所的に堆積させても良い。直接基板上に下地パターンを形成する方法としては、FIB (Focused Ion Beam : 集束イオンビーム) や、EB (電子線) を用いる方法がある。

例えば、FIB 或いは電子線を基板上に局所的に照射しながら、基板上にガスを供給して、その部分に、下地パターンを堆積させることができる。FIB のイオンとしてはガリウムイオンが用いられる。FIB の場合には、例えば、炭素を含むガスをを用い、炭素からなる下地パターンを形成する事が出来る。EB の場合には、例えば、白金を含むガスをを用い、白金の下地パターンを形成する事が出来る。

【0023】

このように直接基板上に下地パターンを形成する方法は、基板の他の部分に全くダメージを与えずに下地パターンが形成できる利点がある。更には、微細なパターンを形成することが容易に行える。例えば、FIB では幅 50 nm 程度、EB の場合には幅 10 nm 程度の微細なパターンが形成できる。この方法は、微少な幅、微少な高さの下地パターンを作製する際に有用である。

一方、前述の基板上に薄膜を形成しておき、これにパターンを形成する方法は、複数のパターンの高さを均一に形成できるとともに、比較的高さの高い下地パターンを制御性よく形成できる点で優れている。

要は、必要な下地パターンの形状に応じて、これらの下地パターンの形成方法を使い分けられよい。

更に、上述した図 2 のように、パターンの上面が凸状の曲面になっている下地パターンは、次のようにして製造することができる。

薄膜上に、所定のレジストパターンを形成する。レジストパターンに熱処理を行い、レジストのパターン上面を曲面に丸める。レジストパターンの上から、ドライエッチングを行い、レジストパターンの曲面形状を下地薄膜に転写する。

又、曲面からなる凹形状を形成するには、薄膜上に所定の開口を有するレジストパターンを形成し、この開口から、薄膜をエッチング液に接触させることで行うことができる。開口を微細なものにすれば、薄膜に断面が略半球状の凹部が形成される。

曲面を形成するために、FIB を用いるなどして、基板上に直接、部分的に薄膜を形成したり、エッチングすることも可能である。

このように、反射多層膜に所望の位相欠陥形状が得られるように、下地パターンの形状を設定し、設定した下地パターンの形状に応じて、その形成方法を適宜選択すればよい。たとえば、エッチングを複数工程行うことで、比較的複雑な形状も形成可能である。

以上のようにして、基板上に所望の下地パターンが形成された下地パターン付基板が得られる。この下地パターン付基板は、擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス又は擬似欠陥を有する反射型マスクを製造するのに用いられる。

【0024】

次に、反射多層膜について説明する。

下地パターン上に形成される反射多層膜は、屈折率の異なる物質を周期的に積層させた構造をしており、特定の波長の光を反射することができる。例えば、約 13 nm の波長の露光光に対しては、Mo と Si を交互に積層させた反射多層膜を用いる事が出来る。Mo と Si は通常 40 周期程度積層される。

その他、EUV 光の領域で使用される反射多層膜の例としては、Ru/Si 周期反射多層膜、Mo/Be 周期反射多層膜、Mo 化合物/Si 化合物周期反射多層膜、Si/Nb 周期反射多層膜、Si/Mo/Ru 周期反射多層膜、Si/Mo/Ru/Mo 周期反射多層膜及び Si/Ru/Mo/Ru 反射多層膜等が挙げられる。反射多層膜の材料は使用する光の波長に応じて、適宜選択すればよい。

反射多層膜は、下地パターンが形成された基板上にスパッタリング等を用いて形成できる。例えば、DC マグネトロンスパッタ法により形成できる。Mo と Si を含む場合、Ar ガス雰囲気下で、Si ターゲットと Mo ターゲットを交互に用いて、30～60 周期、

好ましくは40周期積層し、最後にSi膜を成膜すればよい。他の成膜方法としては、SiターゲットとMoターゲットに交互にイオンビームを照射してイオンビームスパッタして成膜するIBD（イオン・ビーム・デポジション）法等が使用できる。

下地パターン上に形成する反射多層膜は、基板面内において均一な膜厚分布を有することが必要である。均一な膜厚が形成されないと、下地パターンの形状を反映して形成される反射多層膜表面の凸部の形状・大きさを制御することが困難になるからである。従って、反射多層膜が基板面内において均一な膜厚分布を有するようにするために、スパッタターゲット面に向けて配置された基板を、基板主表面の中心を通る法線を回転軸として基板を回転させながらスパッタ成膜するのが好ましい。

より好ましくは、基板の主表面が、スパッタターゲット面に対して傾斜した角度で配置した状態で、基板を回転させながらスパッタ成膜するのが好ましい。

【0025】

例えば、図3に示すようなイオンビームスパッタリング装置を使用して、反射多層膜を形成することができる。図3に示すイオンビームスパッタリング装置40は、真空チャンバー49の中にスパッタ用イオン源41、スパッタターゲット支持手段43、基板支持手段47が設けられている。

スパッタターゲット支持手段43には、少なくとも2つの材料からなる反射多層膜成膜用のスパッタターゲット44、45が装着されており、スパッタターゲット支持手段43は、何れのターゲットもスパッタ用イオン源41に向けて動かせるように回転機構を備えている。

また、基板支持手段47は、スパッタターゲット面に向けて設けられており、スパッタターゲット面に対して所定の角度になるように配置可能な角度調整手段（図示せず）と、基板主表面の中心を通る方線を回転軸として基板48を回転する回転機構（図示せず）が設けられている。

反射多層膜をスパッタ成膜する際は、まずスパッタ用イオン源41から不活性ガスのイオン42を引き出してスパッタターゲット44（又はスパッタターゲット45）へ照射する。すると、スパッタターゲット44（又はスパッタターゲット45）を構成する原子がイオンの衝突によって叩き出され、ターゲット物質46が発生する。スパッタターゲット44（又はスパッタターゲット45）に対向する位置には、基板48を装着した基板支持手段47が設けられており、ターゲット物質46は基板上に付着して薄膜層（交互多層膜を構成する一方の薄膜層）が形成される。

次に、スパッタターゲット支持手段43を回転させることにより、先程とは別のスパッタターゲット45（又はスパッタターゲット44）をスパッタ用イオン源41に対向させて、交互多層膜を構成する他方の薄膜層を形成する。これらの操作を交互に繰り返すことにより、基板上に数十から数百の層からなる反射多層膜を成膜する。

例えば、図4に示すように上記スパッタ用イオン源41はスパッタターゲット44（又はスパッタターゲット45）の法線に対して30°、基板支持手段47は、前記法線に対してスパッタ用イオン源41と反対側に45°傾斜した位置に配置することができる。

【0026】

下地パターンが形成された基板上に、反射多層膜を成膜する過程において、反射多層膜は、下地パターンの凹凸を引継ぎながら成長し、反射多層膜の表面には段差が形成される。これで、下地パターンの形状、大きさに対応した所定の擬似的な欠陥が反射多層膜に導入される。なお、反射多層膜の成膜方法や成膜条件によっても、反射多層膜に形成される欠陥の形状が異なってくるため、下地パターンの形状の設計時には、予め反射多層膜の成膜方法を考慮しておく必要がある。

例えば、上記図3に示すイオンビームスパッタリング装置を使用して反射多層膜を形成する場合に、スパッタターゲット面に対して基板の主表面が90°、110°、135°傾斜した状態で反射多層膜をスパッタ成膜した場合、図5（a）～図5（c）に示すように（同図（a）、（b）、（c）はそれぞれ90°、110°、135°の場合に対応）、下地パターンの形状、大きさが同じ場合であっても、反射多層膜の表面に形成される段

差の高さ、大きさ、形状が変化していることが確認できる。このことから、スパッタターゲット面に対する基板の主表面の角度を制御することにより、容易に反射多層膜の主表面に形成される段差の高さ、大きさ、形状が制御でき、位相欠陥の度合いを制御することができる。

【0027】

以上のようにして、下地パターンを設けた基板上に反射多層膜を形成することにより、所定の位置に所定の形状、大きさの擬似欠陥が形成された本発明の擬似欠陥を有するマスクブランクスを得る事が出来る。本発明の擬似欠陥を有するマスクブランクスは、基板上に設ける下地パターンと、この下地パターンによって反射多層膜に形成される欠陥の形状との関係を予め考慮して、下地パターンを形成する事が出来るので、所望の位置に、所望の形状、大きさの欠陥を設ける事が出来る。特に、下地パターンとして、微細な凸部又は凹部を形成することにより、反射多層膜表面に、制御性よく、数nmオーダーの微細な凸或いは凹形状を形成することが可能である。例えば、下地パターンを、基板上に形成した薄膜をパターニングして形成する場合には、この薄膜の厚みを制御することで、微細な凹凸を形成できる。

尚、上述の擬似欠陥を有するマスクブランクスにおける反射多層膜表面の表面粗さは、二乗平均平方根粗さ(Rms)で、0nm超0.2nm以下とすることが好ましい。さらに好ましくは、0nm超0.15nm以下とすることが望ましい。反射多層膜表面の表面粗さが大きいと、欠陥検査機の検査感度が悪くなり、EUV反射型マスクブランクスを検査する上での所望の検査感度が得られなくなるからである。

【0028】

以上のような本発明の擬似欠陥を有する反射型マスクブランクスは、上記反射多層膜上に、更に他の膜を有していてもよい。例えば、露光光を吸収する材料からなる吸収体層を有していてもよい。更には、吸収体層と反射多層膜との間に、吸収体層へのパターン形成を行う環境に対して耐性を有するバッファ層を有していてもよい。図6は、擬似的な欠陥が形成された反射多層膜3上に、上記バッファ層5及び吸収体層6を有する構造の擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス11を示している。このように反射多層膜上に吸収体層を形成した擬似欠陥を有する反射型マスクブランクスは、後述する擬似欠陥を有する反射型マスクの製造に用いる事が出来る。吸収体層やバッファ層の材料、層構成については、作製される擬似欠陥を有するマスクを用いて評価及び検査を行う反射型マスクブランクス製品及び反射型マスク製品の構成と合わせておけばよい。

例えば、Taを主成分とする吸収体層を用いる場合には、バッファ層としては、Crを主成分とする材料が好ましい。Crを主成分とする材料は、Taを主成分とする吸収体のエッチングガスである塩素を含むガスに対して、Taの20倍以上のエッチング耐性を有する。

また、吸収体層がCrを主成分とする材料の場合には、逆に、Taを主成分とする材料をバッファ層として用いることができる。

吸収体層やバッファ層に用いることのできる、Cr或いはTaを主成分とする材料は、前述した下地パターンを形成するための薄膜と同様の材料を使用することができる。

その他、吸収体層には、W、Tiを主成分とする材料等を用いることができる。又、バッファ層としては、吸収体層の種類に応じて、SiO₂、C等の材料を適宜使用することができる。

【0029】

次に、以上のバッファ層及び吸収体層を有する擬似欠陥を有するマスクブランクス製造について説明する。

前述した方法で下地パターンを設けた基板上に反射多層膜を形成し、位相欠陥が導入された反射多層膜を有する基板を形成する。

この反射多層膜上に、バッファ層を形成する。バッファ層は、スパッタリング法などで形成することができる。例えば、窒化クロム膜の場合、Crターゲットを用い、窒素を含むガスでスパッタリング法により形成できる。バッファ層の膜厚は、吸収体層のエ

ッティングプロセス、リペアのプロセスに対して、十分な耐性を有する厚さであればよい。バッファ層の構成は、作製される擬似欠陥を有するマスクブランクス及び擬似欠陥を有するマスクを用いて評価及び検査を行う反射型マスクブランクス製品及び反射型マスク製品の構成と合わせておけばよい。

次に、バッファ層上に吸収体層を形成する。吸収体層も、スパッタリングなどで形成することができる。例えば、TaとBを含む膜の場合、TaとBを含むターゲットを用いたスパッタリング法により形成できる。吸収体層の厚さは、マスクの非反射領域において、十分に露光を吸収することができる厚さであればよく、できるだけ薄い方が好ましい。吸収体層の構成も、作製される擬似欠陥を有するマスクブランクス及び擬似欠陥を有するマスクを用いて評価及び検査を行う、反射型マスクブランクス製品及び反射型マスク製品の構成と合わせればよい。

以上のように、擬似欠陥が形成された反射多層膜3上に、バッファ層5および吸収体層6を形成することで、図6に示すような擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス11が得られる。

なお、バッファ層は必要に応じて設ければよく、設けなくとも良い。

【0030】

次に、擬似欠陥を有する反射型マスクについて説明する。

この擬似欠陥を有する反射型マスクは、上述したような、下地パターンを設けた基板の上に、擬似欠陥が導入された反射多層膜を有し、更にこの反射多層膜上に少なくとも吸収体層を有する擬似欠陥を有する反射型マスクブランクスの吸収体層に所定のパターンを形成したものである。

吸収体層と反射多層膜との間にバッファ層を有している場合には、必要に応じてこのバッファ層も吸収体パターンに応じてパターン状に除去される。バッファ層へのパターン形成の有無は、作製される擬似欠陥を有するマスクを用いて評価及び検査を行う反射型マスクブランクス製品及び反射型マスク製品の構成に応じて行えばよい。図7は、反射多層膜3上にバッファ層5及び吸収体層6を有する擬似欠陥を有する反射型マスクブランクスにおける吸収体層及びバッファ層に所定のパターン6a、5aを形成して得られた擬似欠陥を有する反射型マスク20を示している。

この擬似欠陥を有する反射型マスクは、反射多層膜に形成された欠陥の評価・欠陥検査に用いるものであるもので、通常、反射多層膜に形成された欠陥の部分が反射領域となるように、吸収体パターンが形成されるのが好ましい。図7では、隣接する吸収体パターン間の反射領域（同図A）に欠陥となる凸部4がある場合と、吸収体パターンからなる非反射領域と反射多層膜が露出した反射領域との境界（同図B）に欠陥となる凸部4がある場合を示している。勿論これに限られる訳ではなく、そのほかにも、検査・評価の目的に応じて、吸収体パターンと擬似欠陥との位置関係、大きさの関係を任意に設計すればよい。

【0031】

次に、以上の擬似欠陥を有する反射型マスクの製造について説明する。

吸収体層へのパターン形成は、リソグラフィの手法を用いて形成することができる。まず、吸収体層上にレジスト層を設け、このレジスト層にパターンを形成する。パターンの描画は、電子線による描画、露光による描画などが挙げられる。

次に、このレジストパターンをマスクとして、吸収体層にエッチングなどの手法でパターンを転写する。例えば、Taを主成分とする吸収体層の場合には、塩素ガスを含むドライエッチングを行うことができる。又、吸収体パターンに発生した黒欠陥や白欠陥は、FIB（Focused Ion Beam：集束イオンビーム）を用いて修正する。吸収体層と反射多層膜の間に、バッファ層を有する場合には、このバッファ層が、吸収体層にパターンを形成、修正する際のエッチングストッパー層として機能し、反射多層膜にダメージを与えないように保護する。更に、必要に応じて、このバッファ層を吸収体層のパターンにしたがって除去し、反射多層膜を露出させる。

バッファ層の除去は、エッチングにより行うことができる。例えば、Crを主成分と

するバッファ層の場合、塩素と酸素を含むガスによるドライエッチングや、Cr剥離液によるウェットエッチングを行って除去が可能である。バッファ層の除去の条件は、反射多層膜にできるだけダメージを与えないように選択する。

以上のようにして、吸収体層に所定のパターンが形成された擬似欠陥を有する反射型マスクが得られる。

本発明の擬似欠陥を有する反射型マスクは、所望の位置に、所望の形状、大きさの擬似欠陥が形成されているので、特に反射型マスク製品の評価・検査に有用である。

【0032】

以上説明した実施の形態では、下地パターンを設けた基板の上に反射多層膜を有しているが、別の実施の形態として、下地パターンを設けた基板と反射多層膜との間に、別の膜を下地中間膜として設けてもよい。図8は、このような下地中間膜7を、下地パターン2を設けた基板1と反射多層膜3との間に設けた形態を示すものである。

このような下地中間膜を設けることで、例えば、欠陥表面に丸みを付けるなど、反射多層膜に形成される欠陥の形状を制御することが出来る。欠陥の形状の制御は、ある程度成膜方法によっても出来るが、この下地中間膜によっても行うことが出来る。

また、下地中間膜を平滑性に優れた膜とすれば、反射多層膜の表面の平滑性を向上させることが出来るので好ましい。従って、下地中間膜の好ましい平滑性は、0.2nmRms以下である。

更には、下地中間膜を設けることにより、下地パターンと反射多層膜との密着性を向上させることが出来る。つまり、下地パターンの形状と、反射多層膜の成膜方法によっては、下地パターンと反射多層膜との間に空隙が生じ易くなる場合がある。このような場合、下地中間膜を設けることで下地パターンと反射多層膜との密着性を向上させて、空隙の発生を抑制することが出来る。

下地中間膜に使用される材料としては平滑性に優れているものが好ましい。この点から、アモルファス材料が好ましく、具体的には、SiやTaを主成分とするアモルファスを用いることが出来る。特に、平滑性の向上を目的とする場合は、平滑性に優れたTaとBの合金や、Si等を用いるのが好ましい。

下地中間膜は、下地パターンが形成された基板表面を覆うように設けられるが、基板表面全体を覆うように設けてもよく、基板表面の一部を覆うように設けてもよい。下地中間膜は単層膜でも、複数層からなる膜でもよい。下地中間膜の成膜は、公知の成膜方法を適宜使用して行うことが出来る。また、その膜厚は、特に制約されないが、通常は20~200nm程度である。

【0033】

ところで、欠陥の評価・検査は、例えば、反射型マスク或いは反射型マスクブランク스에検査光を入射し、その散乱光を検出することで行われる。検査光には、可視光、深紫外線光、或いはEUV光などが目的に応じて用いられる。本発明の擬似欠陥を有する反射型マスク及び擬似欠陥を有する反射型マスクブランク스는、このような検査において、検査機用の校正や、位相欠陥の評価、或いは転写性能への影響の評価、さらに、FIBやEB等を用いた欠陥修正技術の開発、多層反射膜欠陥の解析等を使用することができる。

例えば、下地パターンが形成された基板上に反射多層膜が形成された図1のような擬似欠陥を有する反射型マスクブランク스는、予め所定の擬似欠陥が形成された反射多層膜を有しているので、欠陥の反射率等への影響を調査したり、或いは製品検査の際に、製品の検査で検出された欠陥の大きさ、種類を判別するための標準試料等として用いることができる。又、吸収体層が形成された図6のような擬似欠陥を有する反射型マスクブランクスは、吸収体層にパターンが形成された擬似欠陥を有する反射型マスクを製造するために使用される。更に、図7のような擬似欠陥を有する反射型マスクは、欠陥に対して所定の関係で吸収体パターンが形成されているので、吸収体パターンと欠陥の位置関係が転写像にどのような影響を及ぼすかといった評価に用いることができる。

【0034】

本発明によれば、所望の位置に、所望の大きさ、形状の欠陥を導入することが出来る。

すなわち、予め所望の欠陥がプログラムされた反射型マスクブランクス及び反射型マスクを形成することが出来る。また、異なる大きさ、形状の欠陥を一枚の基板の上に配置することが出来るため、様々な欠陥の評価及び検査装置の調整等を一枚で行える。

次に、実施例を示して本発明を更に具体的に説明する。なお、本発明において平滑性を示す単位 Rms は、二乗平均平方根粗さであり、原子間力顕微鏡で測定することができる。又本発明における平坦度は、TIR(total indicated reading)で示される表面の反り(変形量)を示す値である。これは、基板表面を元に最小二乗法で定められる平面を焦平面としたとき、この焦平面より上にある基板表面の最も高い位置と、焦平面より下にある最も低い位置の高低差の絶対値である。平滑性は $10\mu m$ 角エリアでの平滑性、平坦度は $142mm$ 角エリアでの平坦度で示している。

【実施例 1】

【0035】

基板として、外形 6 インチ角、厚さが $6.3mm$ の低膨張の SiO_2-TiO_2 系のガラス基板を用意した。このガラス基板は、機械研磨により、 $0.12nmRms$ の平滑な表面と $100nm$ 以下の平坦度を有している。

次に、このガラス基板上に、下地パターンを形成するための薄膜として、窒化クロム膜を形成した。成膜方法は、DC マグネトロンスパッタ法によって Cr ターゲットを用いて、スパッタガスとして、 Ar と N_2 を用いた。形成された膜は、 CrN_x で示した場合、 x が 0.2 であり、結晶状態は微結晶であった。膜厚は、形成する擬似欠陥との関係を考慮して、目的(反射多層膜上に形成される)の欠陥の凸部の高さと同じ $4nm$ の厚さとした。又、表面の平滑性は、 $0.15nmRms$ と非常に平滑な膜が得られた。

次に、この窒化クロム膜にパターンを形成し、下地パターンとした。まず、窒化クロム膜上に EB レジストをコートし、電子線描画と現像により欠陥を形成する所定の位置にレジストパターンを形成した。ここで、レジストパターンの形状や大きさは、所望の欠陥の形状、大きさに応じて設定した。具体的には、反射多層膜において幅が $30nm$, $50nm$, $100nm$ 及び $200nm$ の凸形状の欠陥を得るために、幅が $25nm$, $45nm$, $95nm$ 及び $195nm$ のドットパターンの下地パターンに対応したレジストパターンとした。そして、このレジストパターンをマスクとして、窒化クロム膜を塩素と酸素の混合ガスを用いてドライエッチングし、下地パターンを形成し、反射型マスクブランクス製造用基板を得た。このとき、ガラス基板には殆どダメージが発生せず、露出した基板表面は当初の平滑性を保持していた。

【0036】

次に、下地パターンを形成した基板上に反射多層膜として、露光波長 $13\sim 14nm$ の領域の反射膜として適した Mo と Si からなる交互積層膜を積層した。成膜方法は、DC マグネトロンスパッタ法により、まず Si ターゲットを用いて、 Ar ガス圧 $0.1Pa$ で Si 膜を $4.2nm$ 成膜し、その後、 Mo ターゲットを用いて、 Ar ガス圧 $0.1Pa$ で Mo 膜を $2.8nm$ 成膜し、これを 1 周期として 40 周期積層した後、最後に Si 膜を $4nm$ 成膜した。合計膜厚は、 $284nm$ である。この反射多層膜の形成工程において、反射多層膜は下地パターンの形状を引き継ぐように成長した。

得られた反射型マスクブランクス欠陥のない部分に対し、波長 $13.4nm$ 、入射角 5° の EUV 光により反射率を測定したところ、 65% と良好な反射特性を有していた。さらに、基板上に窒化クロムの下地パターンが形成された部分上の反射多層膜表面には、窒化クロムの下地パターンと同じ $4nm$ の高さを有する欠陥が形成されていることを、AFM(原子間力顕微鏡)などにより確認した。また欠陥の幅は、窒化クロムの下地パターンより大きくなり、ほぼ設計通りの幅となっていた。また、反射多層膜表面の表面粗さは、 $0.13nmRms$ であり、高い平滑性を有した擬似欠陥を有する反射型マスクブランクスであった。尚、上述のガラス基板の表面粗さ、下地パターンの表面粗さ、反射多層膜の表面粗さは、何れも原子間力顕微鏡で測定した値である。以降の実施例の表面粗さも原子間力顕微鏡にて測定した値とする。

以上のようにして、得られた本実施例の擬似欠陥を有する反射型マスクブランクスは、

基板上に微細な下地パターンを形成することで、微細な擬似欠陥を反射多層膜に導入することができた。したがって、本実施例の擬似欠陥を有する反射型マスクブランクスを用いれば、短波長領域で用いられる反射型マスクブランクス及び反射型マスクの検査・評価において、微細な欠陥の評価・検査を行うことができる検査機用の校正用基準試料や位相欠陥の評価、FIBやEB等をもちいた欠陥修正技術開発用の試料、多層膜欠陥解析用の試料、反射型マスクの転写性能を評価する評価用試料等に適用できる。

【実施例 2】

【0037】

実施例 1 で得られたマスクブランクの反射多層膜上に、更に、バッファ層として窒化クロム膜を形成した。成膜方法は、Cr ターゲットを用いて、スパッタガスとして Ar と窒素を用いた DC マグネトロンスパッタ法とした。後述する Ta を主成分とする吸収体層のエッチングに対して十分な耐性を有するように、膜厚は 20 nm とした。この窒化クロム膜は、CrN_x で示した場合、X が 0.1 であり、結晶状態は微結晶であった。

次に、このバッファ層上に、波長 13 ~ 14 nm の露光光に対する吸収体層として、Ta を主成分とし、B と N と O を含む膜を形成した。成膜方法は、Ta 及び B を含むターゲットを用いて、Ar に窒素を 10%、酸素を 40% 添加して、DC マグネトロンスパッタ法によって行った。厚さは、露光光を十分に吸収できる厚さとして、70 nm とした。成膜された TaBN_xO 膜において、B は 0.1、N は、0.1、O は 0.4 であった。

以上のようにして、本実施例の擬似欠陥を有する反射型マスクブランクスが得られた。上述の実施例 1 と同様に、本実施例の擬似欠陥を有する反射型マスクブランクスを用いれば、短波長領域で用いられる反射型マスクブランクス及び反射型マスクの検査・評価において、微小な欠陥の評価・検査を行うことができる検査機用の校正用基準試料や、位相欠陥の評価、FIB や EB 等をもちいた欠陥修正技術開発用の試料、多層膜欠陥解析用の試料、反射型マスクの転写性能を評価する評価用試料等に適用できる。

【実施例 3】

【0038】

実施例 2 で作製した擬似欠陥を有する反射型マスクブランクスを用いて、その吸収体層にパターンを形成し、デザインルールが 0.07 μm の 16 Gbit-DRAM 用のパターンを有する擬似欠陥を有する反射型マスクを作製した。まず、上記擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス上に EB レジストをコートし、EB 描画と現像によりレジストパターンを形成した。

次に、このレジストパターンをマスクとして、吸収体層である TaBN_xO 膜を塩素を用いてドライエッチングし、吸収体パターンを形成した。吸収体パターンは、反射多層膜に形成されている欠陥との関係を考慮し、その欠陥が吸収体パターンの近傍の反射領域に露出するような位置関係とした。

さらに、露出したバッファ層である CrN_x 膜を塩素と酸素の混合ガスを用いて、吸収体パターンにしたがって、ドライエッチングして除去し、反射多層膜を露出させた。

以上のようにして、本実施例の擬似欠陥を有する反射型マスクが得られた。得られた擬似欠陥を有する反射型マスクに対し、波長 13.4 nm、入射角 5° の EUV 光により反射率を測定したところ、位相欠陥のない部分において、65% と良好な反射特性を有していた。

【0039】

次に、図 9 に示すパターン転写装置を用いて、転写像の評価を行った。まず、図 9 を参照しながら、反射型マスクによる半導体基板上へのパターン転写について説明する。

図 9 に示すパターン転写装置 50 は、レーザープラズマ X 線源 31、反射型マスク 20、縮小光学系 32 等から構成されている。レーザープラズマ X 線源 31 から得られた EUV 光 (軟 X 線) を反射型マスク 20 に入射し、ここで反射された光を縮小光学系 32 を通して例えば Si₃N₄ 33 上に転写する。縮小光学系 32 としては X 線反射ミラーを用いることができる、縮小光学系 32 により反射型マスク 20 で反射されたパターンは通常 1/4 程度に縮小される。

例えばSiウエハ33へのパターン転写は、Siウエハ33上に形成されたレジスト層にパターンを露光しこれを現像することによって行うことができる。露光波長として13~14 nmの波長帯を使用する場合には、通常光路が真空中になるように転写が行われる。

以上のようなパターン転写装置を用い、本実施例の擬似欠陥を有する反射型マスクを用いて、露光光を波長13.4 nmとしてSiウエハへの露光を行ったところ、欠陥がある部分においては、パターン幅のずれが観察され、欠陥による転写精度への影響を評価できた。このように、本実施例の擬似欠陥を有する反射型マスクを用いて、欠陥の検査、評価を行うことが出来ることが分かった。

【実施例4】

【0040】

実施例1と同様にして、擬似欠陥を有する反射型マスクブランクスを作製した。但し、本実施例では、下地パターンの上面を曲面とした。又、下地パターンを形成する窒化クロム膜の膜厚は、反射多層膜に形成される欠陥サイズとの関係を考慮して、8 nmとした。

窒化クロムの下地パターン上面への曲面の形成は、次のように行った。まず、窒化クロム膜上に実施例1と同様のレジストパターンを形成後、250℃の高温でこれをベークし、レジストの上面を凸曲面に形成した。次に、このレジストパターンをマスクとして、実施例1と同様の窒化クロム膜のドライエッチングを行った。エッチングは、パターンを形成するレジスト膜がちょうどなくなるまで行い、レジストパターンの形状が窒化クロム膜に転写された。この結果、幅が25 nm, 45 nm, 95 nm及び195 nmの下地ドットパターンの上面がそれぞれ凸曲面となっている下地パターンが形成された反射型マスクブランクス製造用基板を得た。

このような下地パターン上に実施例1と同様に、Mo/Si反射多層膜を形成し、反射型マスクブランクスを作製したところ、下地パターンの形成された部分上の反射多層膜は、下地パターンの形状を引き継いで、上面（反射多層膜表面）が曲面の凸状に形成された。反射多層膜上に形成された欠陥の高さは、下地パターンの高さの約半分となり、欠陥の幅は、実施例1と同様、下地パターンより大きくなり、ほぼ設計通りの幅となった。また、反射多層膜表面の表面粗さは、0.13 nmRmsであり、高い平滑性を有した擬似欠陥を有する反射型マスクブランクスであった。

上述と同様に、本実施例の擬似欠陥を有する反射型マスクブランクスを用いれば、短波長領域で用いられる反射型マスクブランクス及び反射型マスクの検査・評価において、微小な欠陥の評価・検査を行うことができる検査機用の校正用基準試料や、位相欠陥の評価、FIBやEB等をもちいた欠陥修正技術開発用の試料、多層膜欠陥解析用の試料、反射型マスクの転写性能を評価する評価用試料等に適用できる。

更に、反射多層膜上に、実施例2と同様の、窒化クロムバッファ層及び、TaBN O吸収体層を形成するとともに、実施例3と同様に、吸収体層にパターンを形成して擬似欠陥を有する反射型マスクを製造した。

この擬似欠陥を有する反射型マスクを用い、実施例3と同様の方法で、露光を行ったところ、欠陥が形成された部分において、パターン幅のずれが観察され、欠陥による転写精度への影響を評価できた。すなわち、本実施例の擬似欠陥を有する反射型マスクが、転写テストや欠陥検査に使用できることが分かった。

【実施例5】

【0041】

実施例1と同様にして、ガラス基板上に、下地パターンを形成する窒化クロム膜を形成した。但し、膜厚は5 nmとした。表面の平滑性は、0.15 nmRmsと非常に平滑な膜が得られた。

実施例1と同様に、窒化クロム膜にパターンを形成し、下地パターンとした。但し、パターンの幅は、50 nmとした。

次に、この下地パターンを形成した基板表面全体を覆うように、下地中間膜として、Ta₄B膜を形成し、反射型マスクブランクス製造用基板を得た。成膜方法は、Ta及びB

を含むターゲットを用いて、DCマグネトロンスパッタ法によって行った。厚さは、50 nmとした。また、表面の平滑性は、0.15 nmRmsと非常に平滑な膜が得られた。

次に、この下地中間膜上に、実施例1と同様に、Mo/Si反射多層膜を形成し、反射型マスクブランクスを作製した。反射多層膜表面の平滑性は、0.13 nmRmsと表面が非常に平滑な反射多層膜が得られた。また、反射多層膜上に形成された欠陥の高さは、下地パターンの高さよりも低い3 nmとなり、欠陥の幅は、実施例1と同様、下地パターンより大きくなり、60 nmとなった。なお、上記下地パターンは矩形状であるが、この反射多層膜表面に形成された位相欠陥の形状は、表面に丸みを持ったドーム型であった。また、ブランクス断面をTEM（透過型電子顕微鏡）で観察したところ、下地パターンと反射多層膜との間には下地中間層が存在していて、空隙は生じていなかった。

上述と同様に、本実施例の擬似欠陥を有する反射型マスクブランクスを用いれば、短波長領域で用いられる反射型マスクブランクス及び反射型マスクの検査・評価において、微小な欠陥の評価・検査を行うことができる検査機用の校正用基準試料や、位相欠陥の評価、FIBやEB等をもちいた欠陥修正技術開発用の試料、多層膜欠陥解析用の試料、反射型マスクの転写性能を評価する評価用試料等に適用できる。

更に、反射多層膜上に、実施例2と同様の、窒化クロムバッファ層及び、TaBN O吸収体層を形成するとともに、実施例3と同様に、吸収体層にパターンを形成して擬似欠陥を有する反射型マスクを製造した。この擬似欠陥を有する反射型マスクを用い、実施例3と同様の方法で、転写像の評価を行ったところ、欠陥の近傍でパターン幅のずれが観察され、欠陥による転写精度への影響を評価できた。本実施例の擬似欠陥を有する反射型マスクが、転写テストや欠陥検査に使用できることが分かった。

【実施例6】

【0042】

実施例1と同様にして、ガラス基板上に、下地パターンを形成する窒化クロム膜を形成した。但し、膜厚は2 nmとした。次に、実施例1と同様に、ガラス基板上に図1(c)に示すようなドット状パターンの大きさの異なる下地パターンを形成し、反射型マスクブランクス製造用基板を得た。尚、大きさは、最小で20 nm×20 nmとし、一辺を20 nmずつ大きくし、最大で200 nm×200 nmのドット状パターンをガラス基板の中央領域に等間隔に形成した。

次に、下地パターンを形成した基板上に、イオンビームスパッタリング法により、MoとSiからなる交互積層膜を実施例1と同じ膜厚で形成し、擬似欠陥を有する反射型マスクブランクスを得た。尚、このときの成膜条件は、スパッタターゲット面に対する基板主表面の傾斜角を、反射多層膜上に形成される凸部（欠陥）大きさが、下地パターンとはほぼ同じ大きさとなる条件でスパッタ成膜した。得られた反射型マスクブランクス上の反射多層膜上に形成された擬似欠陥の大きさを測定したところ、設計通り、下地パターンと同じ大きさのドット状パターンが確認できた。

上述と同様に、本実施例の擬似欠陥を有する反射型マスクブランクスを用いれば、短波長領域で用いられる反射型マスクブランクス及び反射型マスクの検査・評価において、微小な欠陥の評価・検査を行うことができる検査機用の校正用基準試料や、位相欠陥の評価、FIBやEB等をもちいた欠陥修正技術開発用の試料、多層膜欠陥解析用の試料、反射型マスクの転写性能を評価する評価用試料等に適用できる。

更に、反射多層膜上に、実施例2と同様の、窒化クロムバッファ層及び、TaBN O吸収体層を形成するとともに、実施例3と同様に、吸収体層にパターンを形成して擬似欠陥を有する反射型マスクを製造した。この擬似欠陥を有する反射型マスクを用い、実施例3と同様の方法で、転写像の評価を行ったところ、欠陥の近傍でパターン幅のずれが観察され、欠陥による転写精度への影響を評価できた。本実施例の擬似欠陥を有する反射型マスクが、転写テストや欠陥検査に使用できることが分かった。

尚、上述の実施例では、反射多層膜以外の下地パターンや、バッファ層、吸収体層についてもDCマグネトロンスパッタリング法以外に、イオンビームスパッタリング装置を使ったイオンビームデポジション法で成膜しても構わない。

また、1枚の基板（反射型マスクブランクス製造用基板、反射型マスクブランクス、反射型マスク）に、異なる形状の下地パターン（例えば、ドット状パターンとライン状パターン、凸状と凹状）や、高さが異なる下地パターン等を形成しても良い。

【0043】

（発明の効果）

以上詳細に説明したように、本発明によれば、特に短波長領域のリソグラフィで使用される反射型マスク及びそれを製造するための反射型マスクブランクスの評価・検査に使用可能な擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス及び擬似欠陥を有する反射型マスクが得られる。

また、本発明によれば、下地パターンを形成した基板上に、反射多層膜を形成することにより、反射多層膜の所望の位置に、所望の形状、大きさの擬似欠陥を導入することができるので、反射型マスク及びそれを製造するための反射型マスクブランクスの評価・検査に好ましく使用することができる。

【図面の簡単な説明】

【0044】

【図1（a）】本発明の擬似欠陥を有する反射型マスクブランクスの一実施形態を示す断面図である。

【図1（b）】本発明の擬似欠陥を有する反射型マスクブランクスの実施形態を示す断面図である。

【図1（c）】本発明の擬似欠陥を有する反射型マスクブランクスの一実施形態を示す平面図である。

【図2】（a）及び（b）はそれぞれ上面が凸状曲面となっている欠陥を形成するための下地パターンの形状例を示す断面図である。

【図3】本発明の反射型マスクブランクス製造方法に使用する成膜装置の一例であるイオンビームスパッタリング装置の概略構成図である。

【図4】イオンビームスパッタリング装置におけるスパッタ用イオン源、スパッタターゲット、基板の配置関係を示す概略構成図である。

【図5】（a）～（c）は図3に示すイオンビームスパッタリング装置を使用し、スパッタターゲット面に対して基板の主表面が 90° 、 110° 、 135° 傾斜した状態で反射多層膜をスパッタ成膜した場合のそれぞれの断面写真である。

【図6】反射多層膜上にバッファ層及び吸収体層を有する擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス断面図である。

【図7】吸収体層にパターンを形成した擬似欠陥を有する反射型マスク断面図である。

【図8】下地パターンと反射多層膜との間に下地中間層を設けた擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス断面図である。

【図9】パターン転写装置の構成図である。

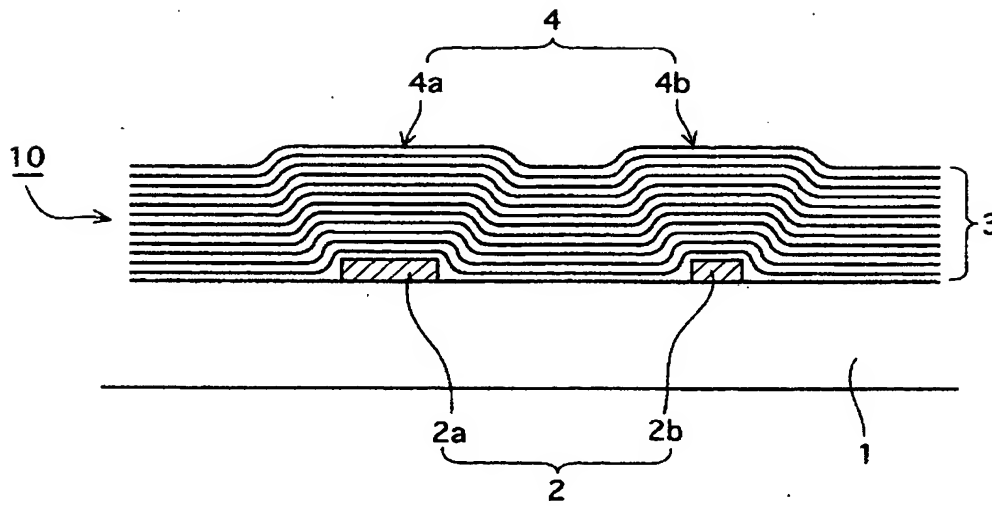
【符号の説明】

【0045】

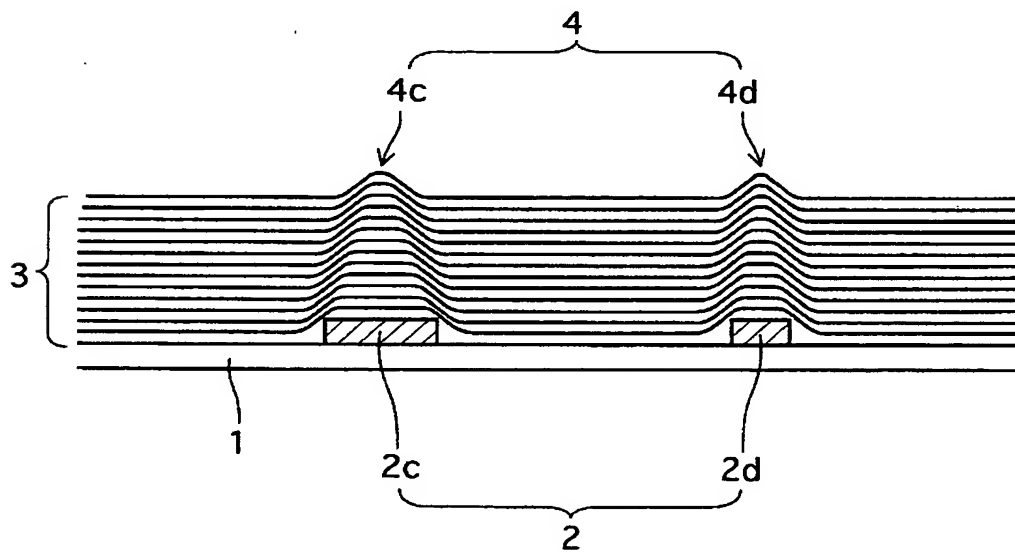
- 1 基板
- 2 下地パターン
- 3 反射多層膜
- 4 欠陥の凸部
- 5 バッファ層
- 6 吸収体層
- 7 下地中間層
- 10, 11, 12 擬似欠陥を有する反射型マスクブランクス
- 20 擬似欠陥を有する反射型マスク

【書類名】 図面

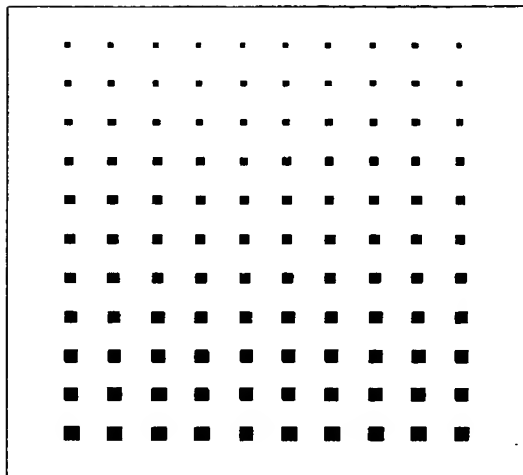
【図 1 (a)】



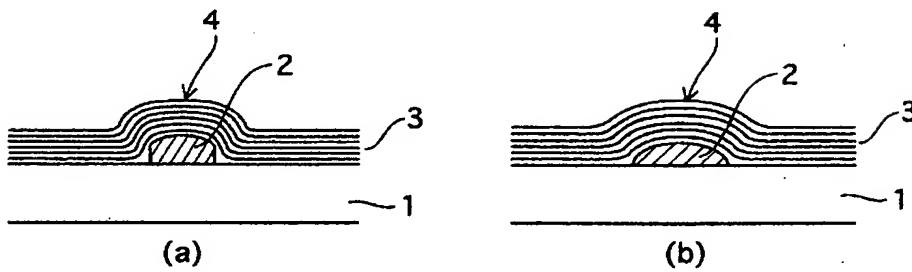
【図 1 (b)】



【図 1 (c)】

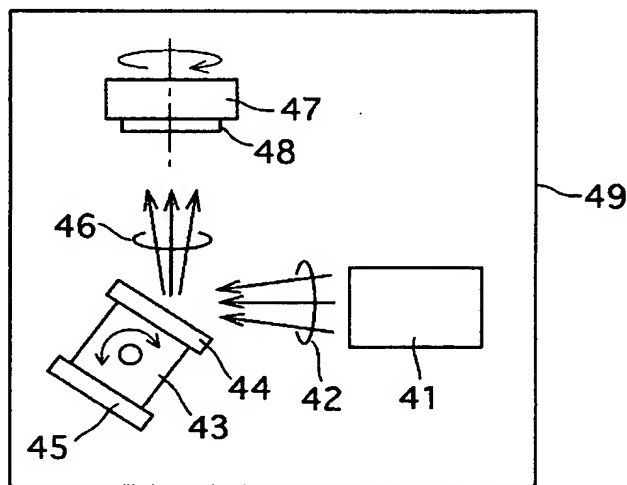


【図 2】

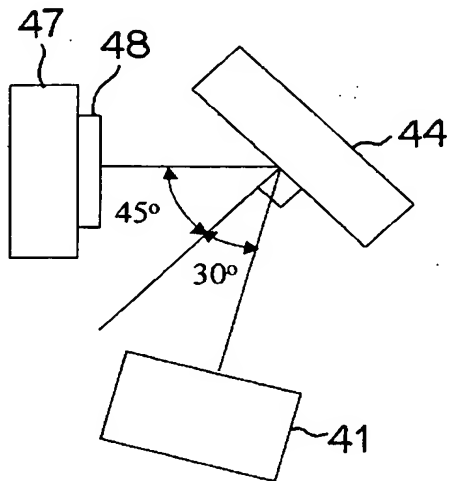


【図 3】

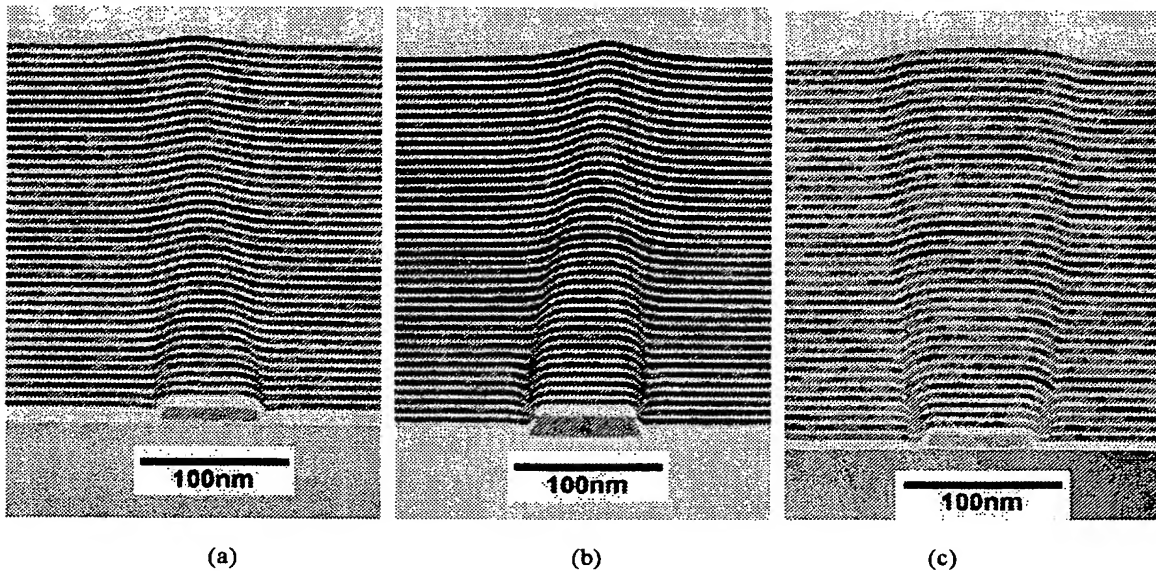
40



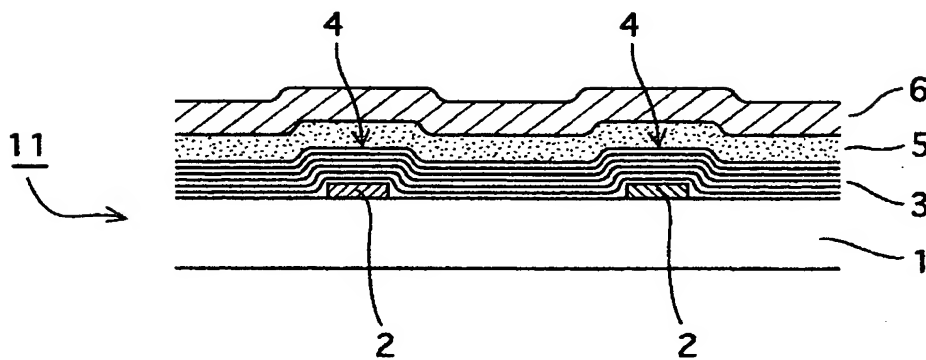
【図 4】



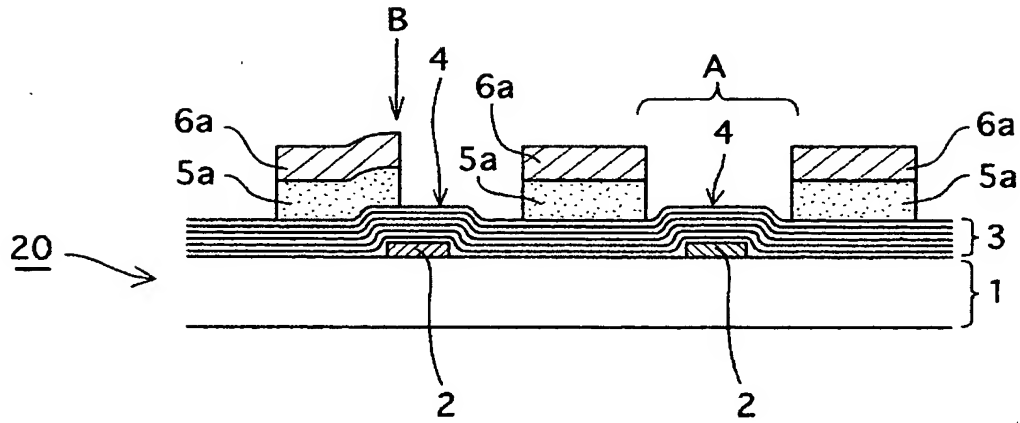
【図 5】



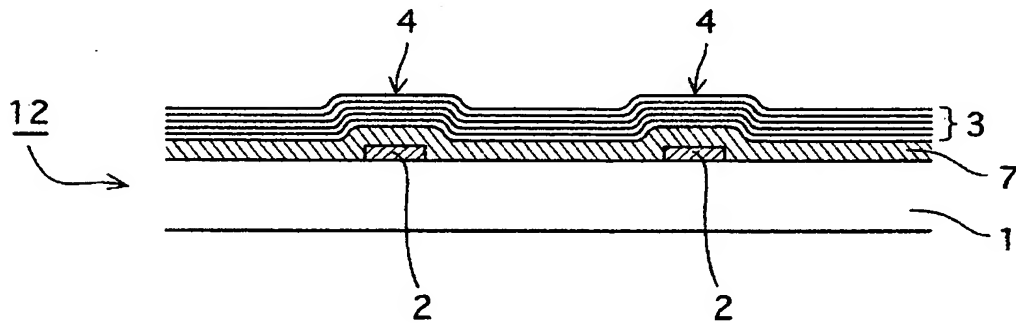
【図 6】



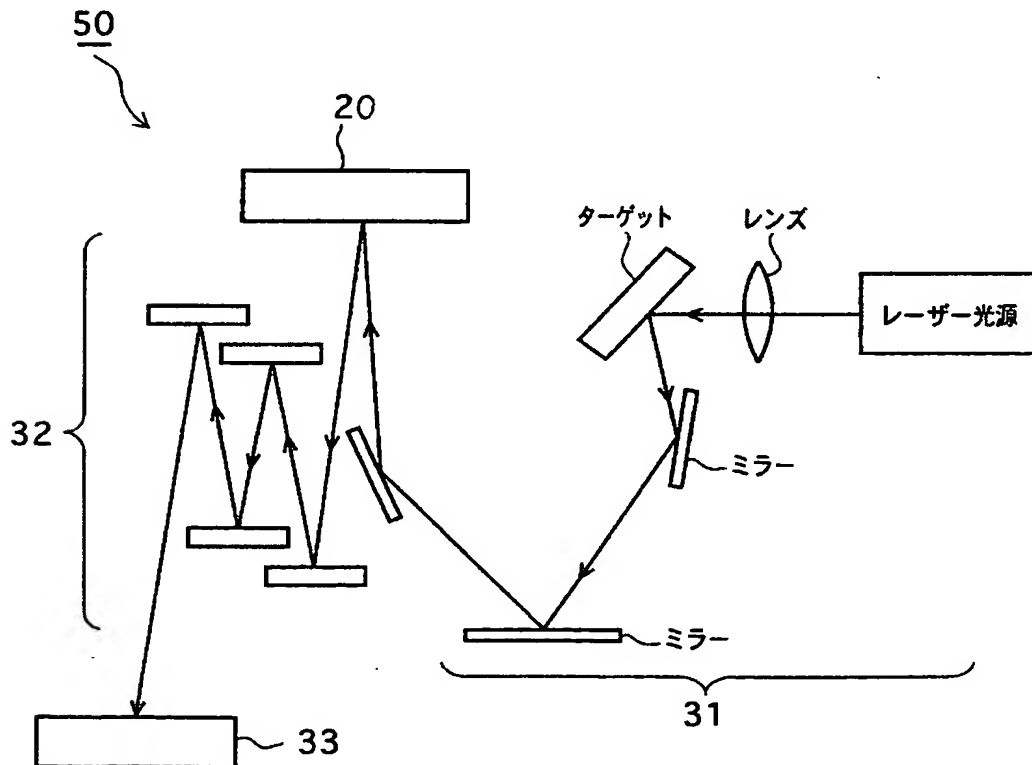
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】 反射型マスク及び反射型マスクブランクスの評価・欠陥検査に用いる擬似欠陥を有する反射型マスクブランクスの及び擬似欠陥を有する反射型マスクを提供する。

【解決手段】 基板 1 と、該基板 1 上に形成された、露光光を反射する反射多層膜 3 とを有し、基板 1 上には所定の凹凸からなる下地パターン 2 を有し、下地パターン 2 上に設けた反射多層膜 3 の表面には下地パターン 2 に対応する段差が形成され、擬似的な欠陥が形成されている。

【選択図】 図 1 (a)

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 3 - 3 1 4 9 9 9
受付番号	5 0 3 0 1 4 8 0 8 7 8
書類名	特許願
担当官	北原 良子 2 4 1 3
作成日	平成 1 5 年 1 1 月 2 7 日

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】	平成15年 9月 8日
-------	-------------

特願 2 0 0 3 - 3 1 4 9 9 9

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 1 1 3 2 6 3]

1. 変更年月日 2 0 0 2 年 1 2 月 1 0 日

[変更理由] 名称変更

住 所 東京都新宿区中落合 2 丁目 7 番 5 号

氏 名 H O Y A 株式会社